

1989年2月下旬秩父演習林で発生した 人工造林地雨水害の要因解析

梶 幹 男*・沢田晴雄*・斉藤俊浩*・斉藤 登*
中山 勇*・赤岩朋敏*・伊藤幸也*

Analyses of Factors Having Caused Heavy Glaze Damages on the Manmade Forests in the Tokyo University Forests in Chichibu in the Late February, 1989

Mikio KAJI*, Haruo SAWADA*, Toshihiro SAITO*, Noboru SAITO*,
Isamu NAKAYAMA*, Tomotoshi AKAIWA* and Kouya Iro*

I. は じ め に

1989年2月25日から26日にかけて秩父地方は雨水に見舞われ、とくに東京大学秩父演習林栃本作業所管内ではカラマツ造林地を中心に林木に大きな被害が発生した。秩父演習林では1915年の設置以来雨水による林木被害の記録はなく、今回が初めての経験であった。

雨水は過冷却の雨滴が0°C前後の地面や地物にあたり直ちに凍結してできる均質透明な氷をいう^{3,6,7,14}。したがって、下層に冷たい空気が入り込んで、その上に暖かい空気が流れている場合、すなわち、気温の逆転が生じたときに降雨があると雨水になりやすいことが知られている。林木への雨水の害は、過冷却の雨滴が樹冠に着水することにより重量が増加し、樹幹や枝に加わる死荷重的破壊力が主な原因とされているが、風が当たるとその影響も付加されることも知られている⁵。

わが国における雨水による林木への被害は、古くは1902年1月の東京都内¹²を初め、1923年1月長野県中部、同年4月長野県諏訪及び木曾地方⁸、1936年1月千葉県南部¹⁰、1954年2月北海道上川地方⁴、1956年3月長野県東部および山梨県東部山岳地帯¹¹、1969年1月長野県中・北部¹¹、1970年1月北海道日高地方¹³など関東、中部および北海道に記録がみられる。また、1967年1月に北米のミズーリ、イリノイ州各所で現出した雨水の嵐(glaze storm)は大規模なもので、氷による損傷を免れた樹木はほとんど無かったことが報じられている²。同一地域における雨水の現出は異常気象に類する希な現象であるが、内陸部の高標高域では比較的短い間隔で現出することも知られている。また、雨水はときに台風被害に匹敵するような甚大な森林被害を及ぼすことも知られており、森林に対する気象害要因として無視できない現象であると考えられる。

雨水をはじめ気象害の発生しにくい施業をすすめていくうえでのひとつの基礎資料とするため、雨水害発生時およびその前後の気象状況の詳細ならびに被害実態と地況および林況との関係について解析しとりまとめたので、その結果を報告する。

被害調査に際して多大のご協力を頂いた秩父演習林の職員の方々に対してお礼申し上げる。ま

* 東京大学農学部附属秩父演習林

University Forest in Chichibu, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

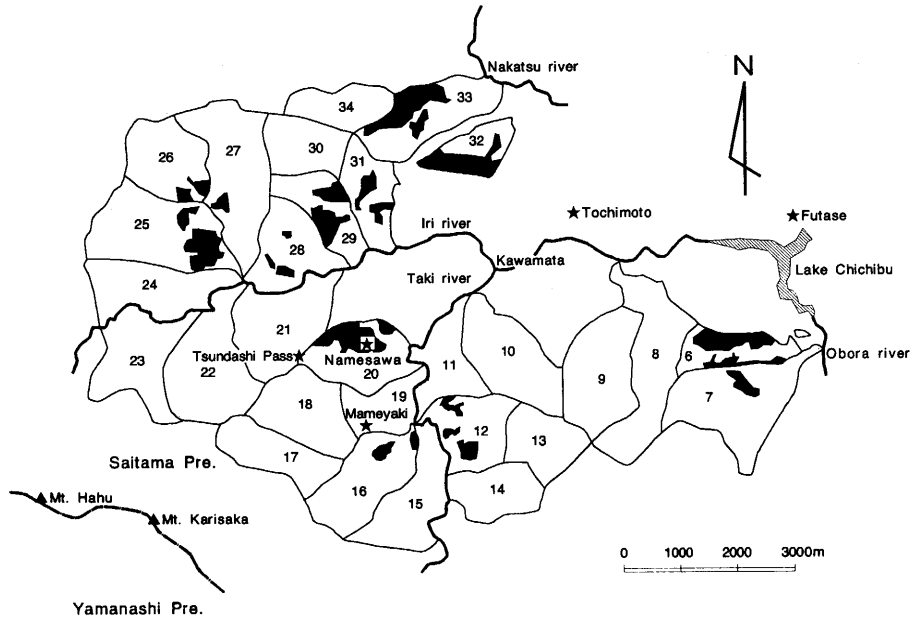


図-1 秩父演習林の人工造林地における雨水被害発生地域

Fig. 1. Area of manmade forests damaged by glaze in the Tokyo University Forests in Chichibu.
 ■, damaged area; ★, meteorological observatory.

た、二瀬および豆焼の気象観測データを提供して頂いた建設省関東地方建設局二瀬ダム管理事務所に対してお礼申し上げる。本論文作成に当り御校閲をお願いした東京農業大学濱谷稔夫教授に心よりお礼申し上げます。

II. 調査地と調査方法

被害の発生した東京大学農学部附属秩父演習林栃本作業所管内の人工造林地中 14 箇林班、128 箇小班について被害木の毎木調査を実施した (図-1)。ただし、被害本数が 20% 以上で面積の大きな小班については標準地法を適用し、 50×20 m の標準地を設置して調査を行った。調査は被害木の樹種、胸高直径、樹高および被害形態を測定、記録した。なお、被害形態は樹冠部の折損、幹の傾斜・湾曲、主幹の折れ、根返りの 4 形態に分けて調査を行った。

雨水発生時の気象状況は、当演習林の突出峠、滑沢および栃本の各観測データと建設省所轄の二瀬および豆焼の観測データを使用して解析を行った (図-1)。

III. 結果と考察

1. 気象状況

1.1 気温

雨水の現出する気象条件として、冷たい空気の上に暖かい空気が重なっている状態、すなわち逆転層の存在が指摘されている。そこで雨水害発生時の気温の状況を明かにするため、被害の発生した標高域に位置する滑沢 (標高 1,150 m) と被害の発生した標高域の上部に位置する突出峠

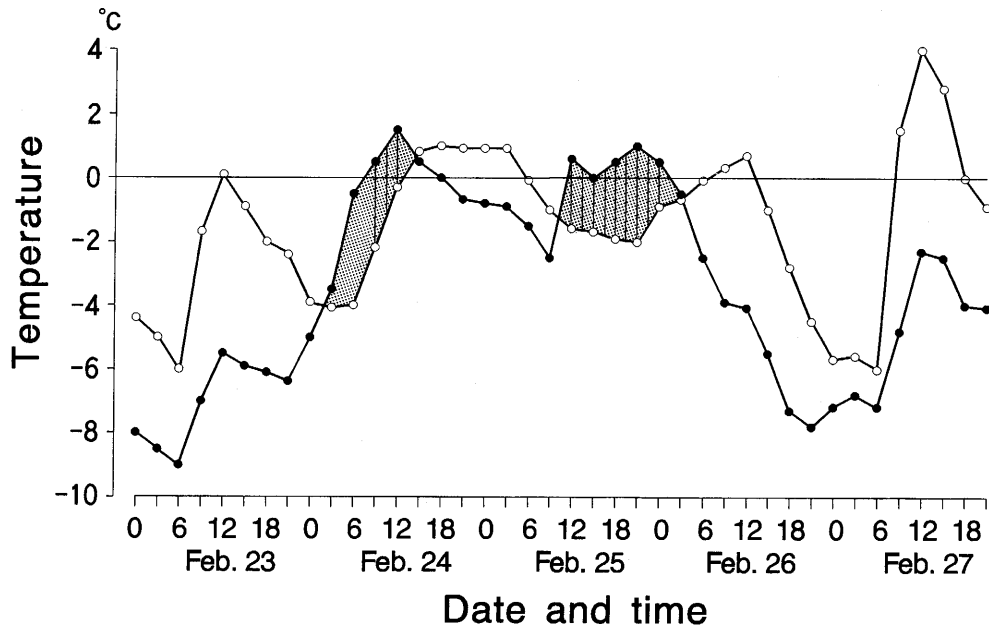


図-2 滑沢および突出峠における2月23日から27日の気温の推移

Fig. 2. Temperature change at Namesawa and Tsundashitouge from the 23 rd. to the 27 th. in February, 1989.

—○—, Namesawa (1,150 m a.s.l.); —●—, Tsundashitouge (1,650 m a.s.l.); ■■■■ temperature (°C): Namesawa < Tsundashitouge; ▨▨▨▨ Namesawa < 0°C; ▩▩▩▩ Tsundashitouge ≥ 0°C.

(標高 1,650 m) の2月23日～27日の気温の推移を示した(図-2)。

同図から24日午前3時から正午の間および25日正午から26日午前3時の間の2回滑沢より標高の高い突出峠の方が気温の高い状態、すなわち逆転層が生じている。またそれらのうち、突出峠が0°C以上で滑沢が0°C以下の時刻は24日午前9時から正午および25日正午から26日午前0時の間であったことがわかる。さらに、2月23日午後10時以降突出峠の気温が急激に上昇していることから、気温の逆転が生じた原因は寒冷な気層の上に暖気が流入したためと考えられる。

1.2 2月の日降水量

雨水現出の必要条件となる降雨の状況を二瀬(標高 570 m)、栃本(標高 770 m)および豆焼(標高 970 m)の3観測地点についてみると(図-3)、いずれの地点でも23日から25日にかけて連続して降雨を記録している。23日と24日はいずれの地点でも1～4 mmのわずかな降雨であったのに対して、雨水害発生前日の25日(日界午前9時)は、2月の日最大降水量にあたる45～53 mmの降雨があったことがわかる。

1.3 降水量の時間的推移

次に、同じく二瀬、栃本および豆焼の3観測地点における2月25日から26日にかけての降水量の時間的推移をみると(図-4)、25日午前10時から26日午前5時の間に断続的に多量の降雨があったことがわかる。また、この降雨は2回目の逆転層が現出した時刻と重なっていることか

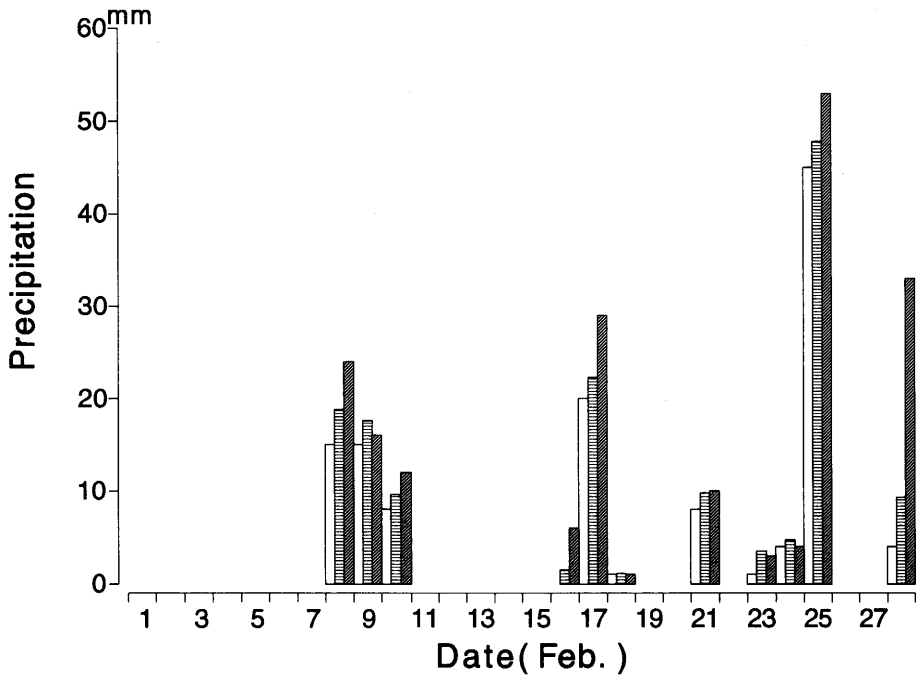


図-3 二瀬, 栃本および豆焼における1989年2月の日降水量

Fig. 3. Daily amount of precipitation at Futase, Tochimoto and Mameyaki on February, 1989.

□ Futase (570 m a.s.l.); ▨ Tochimoto (770 m a.s.l.); ▩ Mameyaki (970 m a.s.l.).

ら、この雨が今回の雨水現出の直接要因と考えられる。なお、気温の逆転が生じた25日正午から26日午前0時の間の栃本の降雨量は34.5 mmであった。

1.4 風速および風向の推移

林木への雨水の被害は、氷結した樹冠が重量を増し、樹幹に加わる雨水の荷重が主なものと考えられているが、風が当たるとその影響も付加されることが知られている。

2月25日～26日の栃本における1時間当りの瞬間最大風速の推移を示した(表-1)。25日午前0時から午前8時までは無風であったが、午前8時から午後7時まで連続的に風速2m前後の南ないし南東の風が観測されている。その後、26日0時まで無風状態が続くが、26日0時から再び風が吹き始め、午前3時以降風向は南東から北西に転じている。また、午前9時から午後4時の間に風速10mを越す強い風が観測され、なかでも午前9時から10時の間には瞬間最大風速15.2mが観測されている。

1.5 まとめ

以上の結果から、25日正午から26日未明にかけて逆転層が生じ、雨水の現出しやすい気象状況にあった。そこへ多量の降雨があり、過冷却の雨滴が林木に着氷して、その荷重による被害、加えてその直後に風向が南東から北西に転じ、低温状態が持続したために氷の融解が遅れ、さらに10mを越す強い風が吹き被害を一層大きくしたものと考えられる。なお、26, 27日両日の被害箇所巡視の際の観察から雨水害発生標高域と雨水現出標高域はほぼ一致していることが明らかになった。したがって、今回雨水の現出した標高域は900～1,450mの範囲であったと推定され

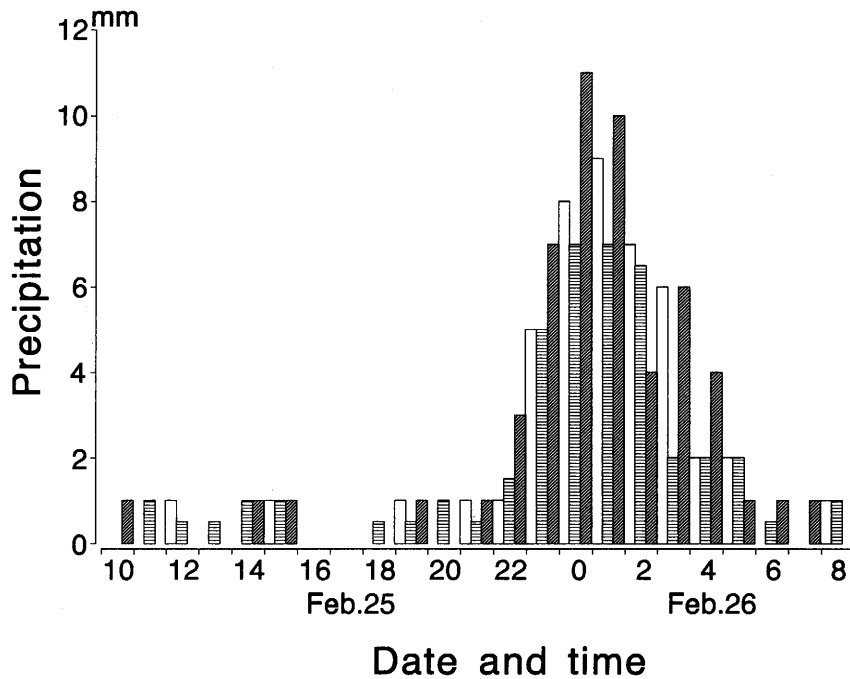


図-4 二瀬，栃本および豆焼における2月25日および26日の降水量の時間的推移

Fig. 4. Hourly amount of precipitation at Futase, Tochimoto and Mameyaki from the 25 th. to the 26 th. in February, 1989.

Each symbol is the same as that in Fig. 3.

る。

2. 被害の概要

2.1 各種造林地の被害状況

人工造林地の被害はカラマツを中心にスギ、ヒノキ、二葉松類の他、サワラ、トウヒ類、モミ類、五葉松類などの樹種に発生した。

被害の発生は900～1,450 mの標高域に限られており、この標高域に位置する423箇小班(548.3 ha)の人工造林地中128箇小班(232.2 ha)に何らかの被害が発生した。樹種別の被害面積と小班数は表-2に示すとおりであった。なお、被害面積は各小班の全立木本数に対する被害本数の割合に小班面積を乗じた値の総和として示した。同表から被害面積は、被害の発生した小班総面積の約10%に当たる23.6 haであった。樹種別では、カラマツが最も被害面積が大きく、次いでスギ、二葉松類の順であった。なお、植栽面積に対する被害面積の比率はカラマツが9.1%、スギが5.0%、二葉松類が8.7%、ヒノキが0.3%であり、二葉松類がカラマツにほぼ匹敵する被害面積率を示した。

被害本数および材積の総計はそれぞれ18,931本、3,711 m³で、そのうちカラマツが本数で76.5%、材積で76.0%を占め、最も大きな被害を受けた。次いでスギが15%程度の被害であった(表-3)。

表-1 栃本における2月25日から26日にかけての瞬間最大風速と風向

Table 1. Maximum instantaneous wind speed and wind direction at Tochimoto from the 25 th. to the 26 th. in February, 1989

時刻 Time	瞬間最大風速 (m/s) Max. inst. wind speed	風向 Wind direction
25 th. Feb.		
0-1	0	N30W
1-2	1.5	—
2-3	0	—
3-4	0	—
4-5	0	—
5-6	0	—
6-7	0	—
7-8	0	—
8-9	2.8	S45E
9-10	1.9	S45E
10-11	1.5	S45E
11-12	2.0	S20E
12-13	1.8	S20E
13-14	2.1	S
14-15	1.9	S30E
15-16	2.8	S25E
16-17	0.2	S45E
17-18	2.1	S
18-19	1.0	S40E
19-20	0	—
20-21	0	—
21-22	0	—
22-23	0	—
23-	0	—
26 th. Feb.		
0-1	3.7	S45E
1-2	4.0	S45E
2-3	2.8	S45E
3-4	1.8	N40W
4-5	1.9	N45W
5-6	3.0	N45W
6-7	1.2	N45W
7-8	3.4	N45W
8-9	5.8	N45W
9-10	15.2	N45W
10-11	11.2	N45W
11-12	6.4	N45W
12-13	9.0	N45W
13-14	9.5	N45W

次に被害形態を A: 樹冠部の折損, B: 幹の傾斜・湾曲, C: 主幹の折れ, D: 根返りとして, 樹種別にその順位をみると, スギでは $C > A \geq D > B$, ヒノキでは $A > C > D > B$, カラマツでは $C > A \geq B > D$, 二葉松類では $C > A \geq D > B$ となる。スギと二葉松類は類似した傾向を示すが, スギでは他樹種に比べ根返りの比率がわずかなではあるが高い点, 二葉松類は主幹の折れが 63.1% ときわめて高い点の特徴的である。また, カラマツに幹の傾斜・湾曲が多く発生している点およびヒノキの樹冠部の折損比率が他樹種に比べて高い点の特徴としてあげられる(表-4)。

被害の程度を表す尺度として, 被害形態により重み付けをした被害率(以下単に被害率とよぶ)を次式のように定義し, 各小班の被害率を求めた。

$$D(\%) = (a \times 1/3 + b \times 2/3 + c + d) / N \times 100$$

但し, D : 被害率(%), a : 樹冠部の折損, b : 幹の傾斜・湾曲, c : 主幹の折れ, d : 根返りの各本数, N : 全立木本数

上記の式により求めた樹種別の被害率を 0%, 0~5%, 5~20%, 20% 以上の四つの被害率階級に分け, それぞれの度数(小班数)を表-5に示した。

2.2 樹種別の被害状況

カラマツは 97 箇小班のうち 42 箇小班に被害が発生し, 本数で 14,482 本, 材積で 2,820 m^3 の大きな被害を受け, そのうち被害率 5% 以上が 26 箇小班あり(表-5), 平均被害率も 4.9% と比較的高い値であった(表-3)。被害の形態では主幹の折れが 33.4%, 幹の傾斜・湾曲が 26.4% と高い比率を占めている(表-4)。これらの点からカラマツは雨氷害に対して弱い樹種といえる。

スギは 71 箇小班のうち 34 箇小班で何らかの被害が発生し, 平均被害率は 3.7% であった(表-5)。被害の形態では主幹部の折れが 44.5%, 根返りが 20.7% と重度の被害が多く

表-2 樹種別被害面積および小班数

Table 2. Area of manmade forests and number of subcompartments damaged by glaze

樹種 Species	面積 (ha) Area	小班数 No. of subcompartment
カラマツ <i>Larix kaempferi</i>	14.99	40
スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	6.04	33
二葉松類 <i>Pinus</i> spp. (hard pines)	1.26	14
ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	0.51	20
シラカンバ <i>Betula platyphylla</i>	0.21	1
サワラ <i>Chamaecyparis pisifera</i>	0.19	4
ストロブマツ <i>Pinus strobus</i>	0.19	4
トウヒ類 <i>Picea</i> spp.	0.11	4
モミ <i>Abies firma</i>	0.06	4
チョウセンゴヨウ <i>Pinus koraiensis</i>	0.02	3
シラベ <i>Abies veitchii</i>	0.02	1
計 Total	23.60	128

但し、二葉松類: アカマツ, クロマツが主で、一部にヨーロッパアカマツを含む、トウヒ類: トウヒ, ヨーロッパトウヒおよびカナダトウヒ
 N. B. *Pinus* spp.: *Pinus densiflora*, *P. thunbergii* and *P. sylvestris*. *Picea* spp.: *Picea jezoensis* var. *hondoensis*, *P. abies* and *P. glauca*

表-3 人工造林地の被害状況

Table 3. Number and stem volume of trees in manmade forest stands damaged by glaze

樹種 Species	被害本数		材積		被害本数/立木本数 D/N (%)
	No. of damaged tree (No.)	(%)	Stem volume (m ³)	(%)	
スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	2,850	15.0	629.6	17.0	8.8
ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	391	2.1	49.7	1.3	2.4
カラマツ <i>Larix kaempferi</i>	14,482	76.5	2,820.0	76.0	16.0
二葉松類 <i>Pinus</i> spp. (hard pines)	946	5.0	159.7	4.3	39.0
その他 Others	262	1.4	52.9	1.4	9.3
合計 Total	18,931	100.0	3,710.9	100.0	

N. B. D: Number of damaged trees, N: Total number of trees in a stand

表-4 造林樹種の被害形態別比率

Table 4. Types of glaze damage and damage percentage of trees in manmade forest stands

樹種 Species	樹冠部の折損 Crown breakage (%)	幹の傾斜・湾曲 Stem leaning (%)	主幹の折れ Stem breakage (%)	根返り Up rooting (%)
スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	26.6	9.2	44.5	20.7
ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	48.8	6.3	27.4	17.5
カラマツ <i>Larix kaempferi</i>	27.4	26.4	33.4	12.8
二葉松類 <i>Pinus</i> spp. (hard pines)	15.3	7.1	63.1	14.5

表-5 被害率階級毎の樹種別小班数

Table 5. Number of subcompartments in each class of damage percentage

樹種 Species	スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	カラマツ <i>Larix kaempferi</i>	ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	二葉松類 <i>Pinus</i> spp. (hard pines)
被害率階級 Classes of damage percentage	小班数 No. of subcompartment			
0	37	55	76	16
0-5	23	16	18	2
5-20	7	18	2	4
20%<	4	8	0	8
合計 Total	71	97	96	30

(表-4), 雨水害に対して弱い樹種といえる。

ヒノキは被害発生小班数が96箇小班中20箇小班と少なく, そのうち18箇小班が被害率5%以下の被害で(表-5), 平均被害率も0.4%と低い値であった(表-3)。被害の形態では樹冠部の折れが48.8%と軽微な被害が多かった(表-4)。これらの点からヒノキは雨水害に強い樹種といえる。

二葉松類の占める小班数は30箇小班と少ないが, そのうち14箇小班で被害が発生した。平均被害率は15.0%と最も高く, 被害率75%以上の壊滅的被害を受けた小班が3箇小班あった。被害形態は主幹部の折れが63.1%で重度の被害が目立った。二葉松類はカラマツ, スギと同様に雨水害に弱い樹種といえる。

2.3 まとめ

ヒノキは雨水に強く, カラマツ, アカマツ, スギは被害を受けやすい樹種であることが知られており, なかでもカラマツが最も弱いとされている。その理由として, カラマツは冬季は落葉期であるが, 小枝が密で雨水の付着量が多いうえに材質が弱い点が指摘されている¹⁶⁾。今回もほぼこれと同様の被害傾向が認められたが, 二葉松類にも著しい被害が認められたことは注目すべき点であろう。

なお、人工造林地以外の天然林、広葉樹二次林においても局所的には枝の折損、幹折れ、根返り等の被害がみられたが、全体的には人工造林地に比べて被害の程度は小さかった。

3. 数量化I類による解析

3.1 解析対象

上記の被害概要から、被害率および被害形態は樹種によってかなり異なることが明らかになった。したがって雨水害の要因解析にあたって、雨水害と地況および林況との関連を樹種別に検討することが重要であると考え、実際に雨水害の発生した900~1,450mの標高域に存在する造林地のうち、面積が大きくかつ小班数の多いスギ、ヒノキおよびカラマツの各造林地を対象として、田中ほか¹⁵⁾のプログラム“QUANT1”を用いて数量化I類による多変量解析を行った。

今回の場合、解析対象が人工林であり、被害率が樹種、標高、地形、林齢等によって異なることが予測されたため、面積は多少異なるが、種々の条件がほぼ一定の小班単位で被害と諸要因との関係を扱うこととした。解析にあたって、第7次森林現況簿、造林台帳、1/5,000の林班地形図および1989年の被害木調査結果から必要な資料を得た。

3.2 アイテム

説明変数(アイテム)には地況要因から斜面位置、斜面形状、傾斜度、標高、方位を、林況要因からは林齢、立木密度の合計7アイテムを選んだ。なお解析に際して当初林況に関するアイテムとして胸高直径、樹高も含めたが、林齢との相関が高かったため林齢で代表した。

斜面位置: 斜面上の相対的な位置を、三浦ほか⁹⁾にしたがって尾根部、尾根下部斜面、山腹緩斜面、谷上部斜面および谷部の五つに区分した。

斜面形状: 林班地形図の等高線の形状から、凸型、凸・平行型、平行型、凹・平行型、凹型および複合型の6形状に分けた。

傾斜度: 各小班内で最も優占する斜面の傾斜度を林班地形図から読みとり、25°以下、25~30°、30~35°、35~40°、40°以上の6階級に分けた。

標高: 各小班の最高標高と最低標高を林班地形図から読みとり、その平均を各小班の標高として、標高900~1,450mの範囲を900~1,000m、1,000~1,100m、1,100~1,200m、1,200~1,300m、1,300~1,450mの5階級に分けた。

方位: 各小班内で最も優占する斜面の方位を林班地形図から読みとり N、NE、E、SE、S、SW、W および N の8方向に分けた。

林齢: 造林台帳から小班の植栽年を調べ、林齢を20年以下、21~30年、31~40年、41~50年、51~60年および61年以上の6階級に分けた。

立木密度: 第7次森林現況簿から各小班の立木密度を調べ、立木密度を500本/ha以下、501~1,000本/ha、1,001~1,500本/ha、1,501~2,000本/ha、2,001本/ha以上の5階級に分けた。

3.3 目的変数

目的変数には前出の式により求めた被害率を使用した。

3.4 解析結果

カラマツ、スギ、ヒノキの各造林地について上記七つのアイテムを用いて数量化I類による多変量解析を行った。

3.4.1 カラマツ

表-6 数量化I類による多変量解析(重みつき)
カラマツ林分(97箇小班)
Table 6. Quantification analysis Quant-1 (Weighted)
Larix kaempferi stands (97 subcompartments)

アイテム Item	カテゴリー Category	小班数 No. of sc.	スコア Score	レンジ Range	偏相関係数 Partial cor. coe.
斜面位置 Position of the slope	1; 尾根部 Ridge top	13	3.491	8.741	0.354
	2; 尾根下部斜面 Slope near ridge top	32	0.576		
	3; 山腹緩斜面 Gentle mid-slope	29	-3.696		
	4; 谷上部斜面 Slope near bottom	20	2.957		
	5; 谷部 Bottom	3	-5.250		
斜面形状 Land type on the slope	1; 凸型 Convex	19	-4.690	8.790	0.412
	2; 凸・平行型 Gently convex	12	-1.172		
	3; 平行型 Rectilinear	34	4.100		
	4; 凹・平行型 Gently concave	15	-0.795		
	5; 凹型 Concave	4	0.092		
	6; 複合型 Concave and convex	13	-1.899		
傾斜度 Inclination (°)	1; -25	12	-2.664	5.931	0.283
	2; 25-30	28	3.267		
	3; 30-35	25	-0.623		
	4; 35-40	23	-1.314		
	5; 40-	9	-1.521		
標高 Altitude (m)	1; 900-1,000	23	-4.042	8.437	0.368
	2; 1,000-1,100	20	1.085		
	3; 1,100-1,200	20	4.395		
	4; 1,200-1,300	18	-1.197		
	5; 1,300-1,450	16	0.307		
方位 Facing	1; N	25	1.517	14.364	0.411
	2; NE	9	0.430		
	3; E	26	1.914		
	4; SE	13	1.243		
	5; S	11	-6.837		
	6; SW	6	2.130		
	7; W	2	-12.233		
	8; NW	5	-4.161		
林齢 Stand age (yr.)	1; -20	5	-10.820	14.044	0.354
	2; 21-30	40	-0.055		
	3; 31-40	33	0.976		
	4; 41-50	5	-0.190		
	5; 51-60	10	3.224		
	6; 61-	4	-1.805		

表-6 つづき
Table 6. continued

アイテム Item	カテゴリー Category	小班数 No. of sc.	スコア Score	レンジ Range	偏相関係数 Partial cor. coe.
立木密度 Stand density (n/ha)	1 ; - 500	8	8.122	17.040	0.449
	2 ; 501-1,000	53	-1.484		
	3 ; 1,001-1,500	27	-0.624		
	4 ; 1,501-2,000	6	9.070		
	5 ; 2,001-	10	-7.970		
	定数項 Constant term		4.890		
	重相関係数 Multiple cor. coe.		0.6633		
	寄与率 Estimation error		0.4400		

表-7 数量化I類に用いた各アイテム間の内部相関係数(カラマツ林分)

Table 7. Inner correlation coefficient among each item used for quantification analysis Quant-I (*Larix kaempferi* stands)

	斜面位置 Position of the slope	斜面形状 Land type on the slope	傾斜度(°) Inclination	標高(m) Altitude	方位 Facing	林齢(yr.) Stand age	立木密度 (n/ha) Stand density
斜面位置 Position of the slope	1.000						
斜面形状 Land type on the slope	-0.257*	1.000					
傾斜度(°) Inclination	-0.129	0.147	1.000				
標高(m) Altitude	-0.138	-0.007	0.177	1.000			
方位 Facing	-0.237	0.103	0.071	0.009	1.000		
林齢(yr.) Stand age	-0.107	-0.065	-0.124	-0.168	-0.069	1.000	
立木密度(n/ha) Stand density	0.034	-0.026	-0.178	-0.111	-0.232	-0.024	1.000

但し, *は1%水準で有意である
N. B. *: $p < 0.01$

97箇小班について解析を行った結果, 重相関係数 0.6633, 寄与率 44.00% と比較的高い値となった(表-6)。

数量化I類による各アイテム間の内部相関係数を表-7に示した。斜面位置と斜面形状は1%水準で有意であるが, 相関係数は-0.257と低く, 各アイテムは概ね独立しているものと判断された。

各アイテムの偏相関係数の値は立木密度, 斜面形状, 方位, 標高, 斜面位置, 林齢, 傾斜度の順で高く, 立木密度, 斜面形状, 方位の偏相関係数が0.400以上の値であった。各アイテムのスコアを見ると, 斜面位置は尾根部および谷上部斜面, 斜面形状は平行型, 傾斜度は25°~30°の緩

表-8 数量化I類による多変量解析(重みつき)
スギ林分(71箇小班)Table 8. Quantification analysis Quant-1 (Weighted)
Cryptomeria japonica stands (71 subcompartments)

アイテム Item	カテゴリー Category	小班数 No. of sc.	スコア Score	レンジ Range	偏相関係数 Partial cor. coe.
斜面位置 Position on the slope	1; 尾根部 Ridge top	6	7.819	13.261	0.410
	2; 尾根下部斜面 Slope near ridge top	22	0.171		
	3; 山腹緩斜面 Gentle mid-slope	20	3.196		
	4; 谷上部斜面 Slope near bottom	21	-5.443		
	5; 谷部 Bottom	2	-0.148		
斜面形状 Land type on the slope	1; 凸型 Convex	10	-0.956	15.602	0.293
	2; 凸・平行型 Gently convex	11	2.865		
	3; 平行型 Rectilinear	29	1.433		
	4; 凹・平行型 Gently concave	13	-2.237		
	5; 凹型 Concave	1	-12.737		
	6; 複合型 Concave and convex	7	-3.099		
傾斜度 Inclination (°)	1; -25	10	-2.914	13.530	0.398
	2; 25-30	12	-6.520		
	3; 30-35	29	3.446		
	4; 35-40	18	1.535		
	5; 40-	2	-10.084		
標高 Altitude (m)	1; 900-1,000	21	-0.184	8.829	0.208
	2; 1,000-1,100	28	-0.562		
	3; 1,100-1,200	10	2.768		
	4; 1,200-1,300	9	1.123		
	5; 1,300-1,450	3	-6.061		
方位 Facing	1; N	1	-9.903	17.500	0.544
	2; NE	2	-1.523		
	3; E	25	4.762		
	4; SE	13	7.598		
	5; S	21	-7.681		
	6; SW	7	-4.456		
	7; W	2	-1.523		
	8; NW				
林齢 Stand age (yr.)	1; -20	10	6.547	10.474	0.336
	2; 21-30	19	-1.208		
	3; 31-40	20	-1.578		
	4; 41-50	7	1.905		
	5; 51-60	9	-3.921		
	6; 61-	6	1.842		

表-8 つづき
Table 8. continued

アイテム Item	カテゴリー Category	小班数 No. of sc.	スコア Score	レンジ Range	偏相関係数 Partial cor. coe.
立木密度 Stand density (n/ha)	1 ; - 500	2	0.395	5.427	0.214
	2 ; 501-1,000	23	-0.301		
	3 ; 1,001-1,500	18	-1.845		
	4 ; 1,501-2,000	13	3.582		
	5 ; 2,001-	15	-0.483		
定数項 Constant term			3.651		
重相関係数 Multiple cor. coe.			0.6025		
寄与率 Estimation error			0.3630		

表-9 数量化I類に用いた各アイテム間の内部相関係数(スギ林分)

Table 9. Inner correlation coefficient among each item used for quantification analysis Quant-1 (*Cryptomeria japonica* stands)

	斜面位置 Position of the slope	斜面形状 Land type on the slope	傾斜度(°) Inclination	標高(m) Altitude	方位 Facing	林齢(yr.) Stand age	立木密度 (n/ha) Stand density
斜面位置 Position of the slope	1.000						
斜面形状 Land type on the slope	0.124	1.000					
傾斜度(°) Inclination	-0.308*	-0.351*	1.000				
標高(m) Altitude	-0.288	-0.105	0.032	1.000			
方位 Facing	-0.189	-0.027	-0.309*	0.172	1.000		
林齢(yr.) Stand age	-0.058	-0.003	0.106	-0.005	-0.450*	1.000	
被害率(%) Damage perc.	-0.263	-0.149	0.297*	-0.047	-0.135	-0.017	1.000

但し, *は1%水準で有意である

N. B. *: $p < 0.01$

斜面, 標高は1,100~1,200 m, 斜面方位は北~南東および南西向き斜面, 林齢は51~60年生, 立木密度は500本/ha以下および1,501~2,000本/haの小班でそれぞれスコアの値が高かった。

3.4.2 スギ

71箇小班について解析を行った結果, 重相関係数0.6025, 寄与率36.30%であった(表-8)。なお, 各アイテム間の内部相関係数は, 斜面位置と傾斜度, 斜面形状と傾斜度, 傾斜度と方位, 方位と林齢が1%水準で有意であった(表-9)。

各アイテムの偏相関係数の値は方位, 斜面位置, 傾斜度, 林齢, 斜面形状, 立木密度, 標高の

表-10 数量化I類による多変量解析(重みつき)
ヒノキ林分(96箇小班)

Table 10. Quantification analysis Quant-1 (Weighted)
Chamaecyparis obtusa stands (96 subcompartments)

アイテム Item	カテゴリー Category	小班数 No. of sc.	スコア Score	レンジ Range	偏相関係数 Partial cor. coe.
斜面位置 Position on the slope	1 ; 尾根部 Ridge top	9	0.275	1.339	0.242
	2 ; 尾根下部斜面 Slope near ridge top	33	-0.073		
	3 ; 山腹緩斜面 Gentle mid-slope	25	-0.678		
	4 ; 谷上部斜面 Slope near bottom	26	0.661		
	5 ; 谷部 Bottom	3	-0.102		
斜面形状 Land type on the slope	1 ; 凸型 Convex	14	-0.234	1.418	0.280
	2 ; 凸・平行型 Gently convex	18	-0.798		
	3 ; 平行型 Rectilinear	29	0.545		
	4 ; 凹・平行型 Gently concave	19	-0.353		
	5 ; 凹型 Concave	2	-0.076		
	6 ; 複合型 Concave and convex	14	0.621		
傾斜度 Inclination (°)	1 ; -25	9	0.045	1.300	0.235
	2 ; 25-30	18	-0.329		
	3 ; 30-35	35	-0.300		
	4 ; 35-40	29	0.662		
	5 ; 40-	5	-0.638		
標高 Altitude (m)	1 ; 900-1,000	21	-0.772	1.514	0.320
	2 ; 1,000-1,100	29	0.581		
	3 ; 1,100-1,200	16	0.742		
	4 ; 1,200-1,300	21	-0.371		
	5 ; 1,300-1,450	9	-0.526		
方位 Facing	1 ; N	14	0.670	1.843	0.293
	2 ; NE	10	-0.981		
	3 ; E	25	0.392		
	4 ; SE	17	-0.191		
	5 ; S	17	-0.022		
	6 ; SW	9	-0.953		
	7 ; W	3	0.862		
	8 ; NW	1	0.250		
林齢 Stand age (yr.)	1 ; -20	11	-0.431	1.906	0.301
	2 ; 21-30	32	-0.289		
	3 ; 31-40	29	-0.261		
	4 ; 41-50	3	0.357		
	5 ; 51-60	12	1.475		
	6 ; 61-	9	0.311		

表-10 つづき
 Table 10. continued

アイテム Item	カテゴリー Category	小班数 No. of sc.	スコア Score	レンジ Range	偏相関係数 Partial cor. coe.
立木密度 Stand density (n/ha)	1 ; - 500	5	1.084	1.753	0.323
	2 ; 501-1,000	17	0.922		
	3 ; 1,001-1,500	35	-0.461		
	4 ; 1,501-2,000	19	0.669		
	5 ; 2,001-	20	0.387		
	定数項 Constant term		0.405		
	重相関係数 Multiple cor. coe.		0.5592		
	寄与率 Estimation error		0.3127		

表-11 数量化I類に用いた各アイテム間の内部相関係数（ヒノキ林分）

Table 11. Inner correlation coefficient among each item used for quantification analysis Quant-1 (*Chamaecyparis obtusa* stands)

	斜面位置 Position of the slope	斜面形状 Land type on the slope	傾斜度(°) Inclination	標高(m) Altitude	方位 Facing	林齢(yr.) Stand age	立木密度 (n/ha) Stand density
斜面位置 Position of the slope	1.000						
斜面形状 Land type on the slope	-0.295	1.000					
傾斜度(°) Inclination	0.279	-0.254	1.000				
標高(m) Altitude	-0.105	0.048	-0.093	1.000			
方位 Facing	-0.105	-0.020	-0.073	-0.129	1.000		
林齢(yr.) Stand age	-0.331	0.163	-0.051	0.062	-0.060	1.000	
立木密度(n/ha) Stand density	0.020	-0.006	0.109	-0.163	-0.227	0.132	1.000

順に高く、方位、斜面位置の偏相関係数が0.400以上の値であった。各アイテムのスコアを見ると、斜面位置は尾根部から山腹緩斜面、斜面形状は凸・平行型、平行型、傾斜度は30°~40°、標高は1,100~1,300 m、林齢は20年生以下、41~50年生および61年生以上、立木密度は500本/ha以下および1,501~2,000本/haでスコアの値が高かった。なお方位はスギの植栽されている小班が東から南西向き斜面にかたよっているため、はっきりした傾向を読み取ることは難しいが、小班数の多い東~南西の範囲では東~南東向斜面でスコアの値が高い傾向が認められた。

3.4.3 ヒノキ

96箇小班について解析を行った結果、重相関係数0.5592、寄与率31.27%であった(表-10)。なお、各アイテム間の内部相関係数は、斜面位置と斜面形状、斜面位置と傾斜度、斜面位置と林齢が1%水準で有意であった(表-11)。

各アイテムの偏相関係数の値は立木密度、方位、林齢、標高、斜面形状、斜面位置、傾斜度の順であったが、偏相関係数が0.400以上のアイテムはなかった。各アイテムのスコアを見ると、斜面位置は尾根部および谷上部斜面、斜面形状は平行型および複合型、傾斜度は25°以下および35°~40°、標高は1,100~1,200 mを中心に、斜面方位は西~北および東向き斜面、林齢は41年生以上の小班でそれぞれスコアの値が高かった。ヒノキ林分は平均被害率が低いためにレンジの値が低く、スコアが1.000を超えるカテゴリーは林齢の51~60年生と立木密度の500本/ha以下だけであった。

3.4.4 二葉松類

二葉松類については小班数が30箇小班と少なかったため数量化I類による解析は行わなかった。

3.5 まとめ

多変量解析に用いた七つのアイテムのうち、カラマツは立木密度、斜面形状、方位、スギは方位、斜面位置、傾斜度、ヒノキは立木密度、傾斜度、林齢の順で、それぞれ偏相関係数の値が高く、樹種毎に寄与している要因が異なっていた。

各アイテムにおけるカテゴリーのスコア値は、標高を除いて樹種間で一定の傾向は認められなかった。標高については、3樹種とも1,100~1,200 m範囲を中心にスコアの値が高く、今回の雨水の中心は標高1,100~1,200 mの間にあり、そこで着水量が最も多かったことを示唆するものと考えられた。

被害率と方位の間には樹種間で一定の傾向は認められなかった。これは、着水後に風向が南から北西に変化したこと、樹種によって方位毎の小班数に片寄りがあること、また地形の複雑な山地では風向が複雑に変化すること等いくつかの要因が影響したためと考えられる。ただスギとカラマツについては、風衝地である尾根部や着水後の北西の強風を背後からうける方向である東~南東向き斜面でスコアの値が高かった。従来、雨水害発生に関して風の影響はあまり注目されていないが、秩父山地のように急傾斜地における造林地の場合、林木は斜面下部方向に多く枝葉を伸し、樹冠が著しく偏心する。したがって、林木は斜面に直角にあたる風よりも、むしろ山側から吹き降ろす風に対してバランスを崩しやすい形状にある。実際、被害木の幹折れ、根倒れおよび傾斜・湾曲方向はほとんどが谷側であった。以上の点から、氷の荷重に加えて着水後の風も被害発生に少なからず関与したものと考えられる。

要 旨

1989年2月25日から26日にかけて東京大学秩父演習林栃本作業所管内の森林に大きな雨水害が発生し、人工造林地での被害は本数18,931本、材積3,711 m³、面積は23.6 haに及んだ。しかも被害の発生した標高域はほぼ900~1,450 mの範囲に限られていた。そこで雨水現出の原因となったと思われる要因解析を行った。

まず滑沢(標高1,150 m)、突出峠(1,650 m)両地点の日記々録を比較した結果、この頃ここに明かな気温の逆転を生じていたことが判明した。しかも同じ時間帯に少し下方の栃本観測所(標高770 m)で34.5 mmの降雨が記録されていた。従って、雨水害発生の経過についてこの時のこの雨が冷たい気層の中を落下する間に十分に冷やされて過冷却状態になり、それが枝、葉に当たって瞬時に氷結し、着水量を増加させていった。そしてこの着水の荷重によって幹や枝が損傷を受

け、雨水後の強風がその被害を一層大きくしたものと推定された。

また造林樹種のうち、カラマツが本数、材積ともに最も大きな被害を受け、総被害量の76%を占めた。被害形態を樹冠部の折損、幹の傾斜・湾曲、主幹の折れ、根倒れの四つに区分し、樹種別の被害率を求めた結果、樹冠部の折損はヒノキ、幹の傾斜・湾曲はカラマツ、主幹の折れは二葉松類、根倒れはスギでそれぞれ最も高い値を示した。

そこで、カラマツ、スギ、ヒノキのそれぞれについて、雨水害と地況および林況要因との関係を明かにするため、数量化I類による多変量解析を行った。解析に用いた七つのアイテムのうち、六つには樹種間で一定の傾向は認められなかったが、標高のみで、3樹種とも1,100~1,200 mの範囲を中心に高いスコア値が認められた。このことは、今回の雨水害の中心がこの標高域にあり、そこで着水量が最も多かったことを示唆するものである。

キーワード：秩父、人工造林地、雨水害、要因、解析

引用文献

- 1) 防災部風害研究室：昭和31年・III・19, 21日甲信地方に発生したカラマツ造林地の雨水害調査報告，林野庁，東京，1957.
- 2) CROXTON, W. C.: A Study of the Tolerance of Trees to Breakage by Ice Accumulation, *Ecology*, **21** (1), 71-73, 1939.
- 3) 原田 泰：森林気象学，247 pp., 朝倉書店，東京，1951.
- 4) 井上 桂・増田久夫：上川盆地の雨水被害について，林業試験場北海道支場業務報告特別報告3号，1955.
- 5) 川口武雄：森林気象学，103 pp., 地球出版，東京，1947.
- 6) 河野齡蔵：高山研究，199 pp., 岩波書店，東京，1927.
- 7) 気象学ハンドブック編集委員会：気象学ハンドブック，752 pp., 技報堂，東京，1959.
- 8) 松島周一：富士見および木祖における雨水，森林治水気象彙報 **2**, 1923.
- 9) 三浦 覚・松本陽介・真下育久：台風15号（昭和56年）により東京大学北海道演習林に発生した風害の要因解析，東京大学農学部演習林報告，**73**, 139-160.
- 10) 村井日吉：千葉縣演習林の雨水害報告，東京帝国大学農学部演習林報告 **27**, 1-59, 1936.
- 11) 長野県：森林気象害の防除，長野県，66 pp., 1987.
- 12) 林業試験場：大正11年1月10日の雨水，森林測候所特別報告 **7**, 132, 1922.
- 13) 佐藤 休・中村幸美・松橋正明・中井戸啓：雨水害を受けたカラマツ林の回復状況について，第19回日林北支講，123-126, 1970.
- 14) 新版気象の辞典編集委員会：新版気象の辞典，397 pp., 東京堂出版，東京，1974.
- 15) 田中 豊・垂水共之・脇本和昌・辻谷将明：パソコン統計解析ハンドブックII多変量解析編，400 pp., 共立出版，東京，1988.
- 16) 帝国森林会：森林学，553 pp., 共立出版，東京，1978.

(1990年10月31日受理)

Summary

The glaze occurred at various places in Kanto from the 25th. to the 26 th. in February, 1989 gave heavy damages to the manmade forests in Tochimoto District of the Tokyo University Forests in Chichibu, totals of 18,931 in the number, of 3,711 m³ in the stem volume and of 23.6 ha in the area (Table 2, 3).

And most of these damages were found in restricted altitude ranges from 900 to 1,450 m a.s.l.. For the purpose to search out main factors having caused these glaze damages, various analyses were carried out.

The comparison of the temperature records taken from Namesawa (1,150 m a.s.l.) and Tsundashitouge (1,650 m a.s.l.) during the period concerned obviously clarified that the invasion of temperature occurred between these two altitudes (Fig. 1). On the other hand, the rainfall of 34.5 mm was recorded at Tochimoto observatory (770 m a.s.l.) during the same period (Fig. 3). It can be supposed from these two facts that the rain water was cooled to the over-cooled condition fallen passing through cold atmospheric layer below, and consequently it was frozen and turned to ice as soon as it dropped on branches and leaves, and fixed and accumulated on them. Therefore, stems and branches were broken by the heavy load of ice, and furthermore the damages were enlarged by strong wind blown after the glaze (Table 1).

Among the manmade forests of different species, stands of Japanese larch (*Larix kaempferi*) were most severely damaged showing 76 per cent of the total damage both in the number and the stem volume.

Having classified the damages of stand trees into four types, i.e., crown breakage, stem leaning, stem breakage and up rooting and surveyed the degrees of damage of every tree species, it was known that the percentage of crown breakage was the highest in the stands of hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*), that of stem leaning in Japanese larch, that of stem breakage in the species of hard pines, and that of up rooting in cryptomeria (*Cryptomeria japonica*), respectively.

For the purpose of analysis of causal relations between the degree of glaze damage and the factors of topographical and or stand conditions, several stands of Japanese larch, cryptomeria and hinoki cypress were subjected to quantification analysis Quant-1, for which five items for topographical factors and two items for stand conditions were selected (Table 6-8). Among the seven items, six did not present any obvious relation among the stands. But a category of 1,100-1,200 m in the item of altitude alone was significantly related to the occurrence of glaze damage in the stands of every species. This fact suggests that the amount of ice deposition was the largest in this range of altitude which caused heavy damages.

Key words: Chichibu, Manmade forest, Glaze damage, Factors, Analysis